

観光歩行行動データに対するGISを用いた3次元可視化手法の提案

深田 秀実[†], 奥野 祐介[†], 大津 晶[†], 橋本 雄一^{††}

[†]小樽商科大学社会情報学科, ^{††}北海道大学大学院文学研究科

【あらまし】 近年、観光分野では、GPS受信機の普及に伴い、小型で軽量なGPSロガーを用いた観光行動調査が行われるようになってきた。この調査で得られるGPSログデータの可視化手法のひとつとして、GISを用いたカーネル密度推定がよく知られている。しかし、この手法では、単一の行動データに対して、観光者のおおまかな行動範囲や長時間滞留している場所を可視化できるが、行動軌跡や時間経過に伴う滞留場所の変化を把握することは難しい。そこで、本研究では、観光者の歩行速度に着目し、GPSロガーで取得した観光歩行行動データに対する可視化手法のひとつとして、GISを用いた3次元可視化手法を提案する。小樽市を訪れた観光者の歩行行動GPSログデータに対して、本提案手法を適用したところ、観光者の行動軌跡を可視化することができ、滞留している場所やその時間帯といった観光行動に関する情報を抽出できる可能性があることがわかった。

【キーワード】 観光行動, 歩行速度, GPS, GIS, 3次元可視化

Proposal of Technique for 3D Visualization of Behavioral Data on Scenic Walks using Geographic Information System

Hidemi Fukuda ¹⁾, Yusuke Okuno ¹⁾, Shou Ohtsu ¹⁾, Yuichi Hashimoto ²⁾

¹⁾ Department of Information and Management Science, Otaru University of Commerce

²⁾ Graduate School of Letters, Hokkaido University

【Abstract】 In recent years, tourist studies using handy GPS devices have been conducted in the area of tourism as well. Kernel density analysis is one method that has often been used to analyze the GPS log data obtained from those behavioral studies. However, it is difficult for this method to grasp change of the places where tourists are remaining. Thus, the current study focused on the walking speed of tourists and it analyzed behavioral data from scenic walks. This study has proposed a technique for 3D visualization using Geographic Information System (GIS) to analyze behavioral data acquired from GPS devices. The proposed technique was used to analyze data on the walking behavior of tourists visiting the City of Otaru. This technique has the potential to provide information on tourism dynamics such as places where tourists are remaining and times when they do so.

【Keywords】 Tourist Behavior, Walking Speed, GPS, GIS, 3D visualization

1. はじめに

近年、観光旅行は、高速交通網の整備や高度情報化社会の発展などを背景として、従来主流だった団体旅行から家族・友人・個人などの少人数旅行へと変化が見られる[1]。そのため、観光分野では、観光都市間の回遊といったマクロスケールの観光行動分析に加えて、観光都市内などにおけるミクロスケールの個人観光行動データの取得やその分析が必要となってきている。

個人の観光行動を調査する方法としては、アンケート

調査表を用いるのが主流であった。しかし、米国が構築した全地球測位システム(Global Positioning System: 以下、GPS)の電波信号を受信することで、地球上での位置や時間のデータを計測・保存できる「GPSロガー」の普及により、GPSログ情報や詳細な個人行動データなどといった「加工余地が高いミクロスケールの非集計データ」の取得が可能となった。これらのデータは、マイクロジオデータ[2]と呼ばれ、観光分野をはじめ、都市計画、交通工学、また、マーケティングなどの分野で注目され始め

ている。

GPSを用いた観光者の行動調査としては、野村らが小型のGPSロガーを用いて行った研究がある[3]。この研究は、鎌倉市を訪れた観光者のGPSログを取得し、観光歩行者流動の可視化分析を行ったものである。古谷は、箱根地域を事例として、GPS機能付き携帯電話を用いて観光行動データを取得・分析し、観光行動動態分類法を提案している[4]。また、倉田らは、小規模観光地などにおけるGPS調査の有効性とGPSログデータに対する更なる解析手法開発の必要性を指摘している[5]。

観光行動に関する分析手法の研究としては、従来の統計データを用いた分析に比べ、地理情報システム(Geographic Information System:以下、GIS)を用いた時空間行動分析の有用性が指摘されており[6]、長尾らも、観光動態情報を抽出するデータマイニング法を提案した論文の中で、観光ルートなどの個人行動情報獲得に際して、GIS技術の導入による獲得可能性に言及している[7]。また、矢部らは、GPSを用いた観光行動調査の分析について、GISを用いた2次元・3次元の可視化手法に注目し、その有効性を分析している[8]。

観光行動調査で得られたGPSログデータに対する2次元可視化手法のひとつとして、カーネル密度推定が用いられることが多い[9]。しかし、単一データのカーネル密度分布図では、観光者の主な行動範囲や、長時間滞留していた場所を把握することが可能であるが、観光者の行動軌跡を読み取ることや時間経過に伴う滞留場所の把握が難しいという短所がある。

また、文献[8]では、3次元可視化手法として、時間地理学で用いられてきた時空間パスの有効性と短所を指摘している。時空間パスでは、平面位置に対して垂直方向に時間軸を加えることで、行動の時空間的な特徴を捉えることができるとされている。しかし、時空間パスの3次元可視化では、移動者の軌跡が時間経過とともに、地図表示面より離れて表現されていくため、ミクロスケール

での行動軌跡を読み取りにくい。

以上に指摘したような可視化手法の短所を解決できれば、GPSログを用いた観光行動データを分析する際、ミクロスケールで観光者が滞在する場所や時間帯、また特徴的な歩行ルートなどを明らかにすることが可能になる。これにより、観光都市などにおける観光まちづくりや観光施策の立案などに寄与できるものと考えられる。

そこで、本研究では、観光行動の歩行速度に着目し、GPSロガーで取得したマイクロジオデータに対する可視化手法のひとつとして、GISを用いた3次元可視化手法を提案する。そして、北海道小樽市を事例に、小型GPSロガーを用いて歩行観光者のGPSログを取得し、この実データを用いて本提案手法の有用性を検証する。

観光者の歩行速度に着目した研究としては、ドイツのゲルリッツを研究フィールドとして調査・分析した事例[10]があるが、GISを用いた3次元可視化は行っていない。また、GISを用いた移動体の3次元可視化としては、交通工学分野で自動車の移動速度を3次元で可視化した研究[11]があるが、観光分野において観光者の歩行速度(移動速度)に着目し、3次元可視化手法を検討した事例は見当たらない。

以下、第2章では、小樽市でのGPSロガーを用いた観光歩行行動調査の概要を述べる。第3章でGISを用いた従来の可視化手法の短所をまとめ、第4章では、提案する3次元可視化手法を説明する。第5章では、実データを用いて、本提案手法の有用性を検証する。最後に第6章でまとめを述べる。

2. GPSロガーを用いた観光行動データの取得

本章では、まず、衛星による測位システムについて概観する。次に、観光歩行行動のGPSログデータ取得に関する調査概要について説明する。そして、今回の調査で使用したGPSロガーを示し、それを用いた定点観測の結果を述べる。

2.1 GNSSとGPS

衛星を使った測位システムは、全世界的航法衛星システム(Global Navigation Satellite Systems, 以下, GNSS)と呼ばれ、衛星からの時刻情報を受信して、地球上における移動体の位置を計算することができる。GNSSのうち、米国が打ち上げた衛星を用いて測位するシステムをGPSと呼ぶ。他のGNSSとして、欧州のGalileoやロシアのGLONASSなどがある。現在、市販のGPS受信機では、10m～20mの精度で測位可能である[12]。

日本では、準天頂衛星システムの計画が進められている。この準天頂衛星は「みちびき」という名称で呼ばれ、GPSを補完することで、日本付近での測位精度の向上を目指している。2010年9月11日に打ち上げられた「みちびき」は、現在、技術実証・利用実証実験を実施中である[13]。

2.2 GPSロガーを用いた観光歩行行動調査

GPSログデータの収集は、北海道小樽市を訪れる観光者を対象とし、歩行観光動態調査として実施した。小樽市は運河や歴史的建造物、ガラス製品、スイーツなどといった観光資源が豊富な地方の小規模都市で、全国でも有数な観光都市のひとつである。

小樽市の観光客動態調査(2008年度調査)によれば、小樽市を訪れる観光者が利用する交通機関は、「列車」の利用が34.8%と最も多い[14]。そこで、今回の調査では、小樽市を訪れる観光者のうち、JR小樽駅を起終点として、小樽運河周辺エリアを中心に歩行観光を予定している観光者を対象とした。図1に調査対象の大まかな範囲とランドマークなどを示す。また、調査の概要を表1に示す。

本観光動態調査では、JR小樽駅入口横に、調査の説明、調査用小型GPSロガーの貸出および返却を行う受付(以下、調査基点ブース)を設置した(図2)。この調査基点ブースにて、調査の内容を説明し、同意を得た歩行観光者グループに対し、小型GPSロガーを貸与した。そのグ

ープには、JR小樽駅に戻った時点で、調査基点ブースにGPSロガーを返却するよう依頼した。

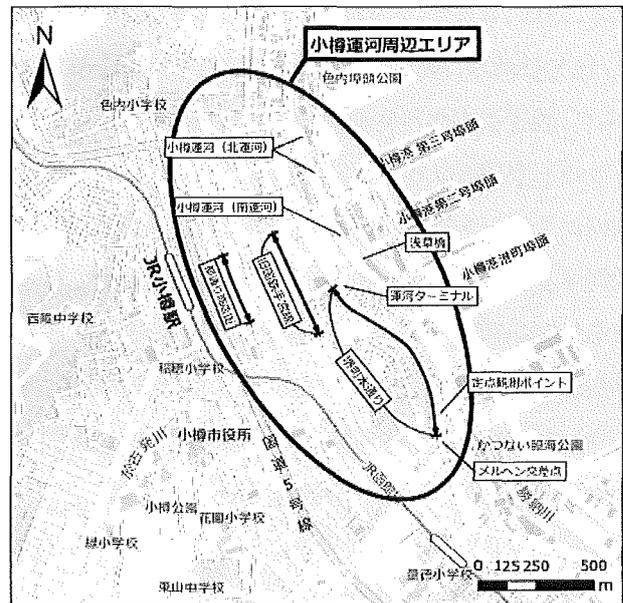


図1 小樽市における調査位置図

表1 歩行観光者動態調査の概要

調査対象	小樽に観光目的で来訪した観光者グループ
調査期間	2011年9月17～19日, 23～25日(計6日間)
調査時間	10:00～17:00(原則)
調査起終点	JR小樽駅
GPSロガー	GARMIN eTrex Venture HC
取得データ数	32グループ

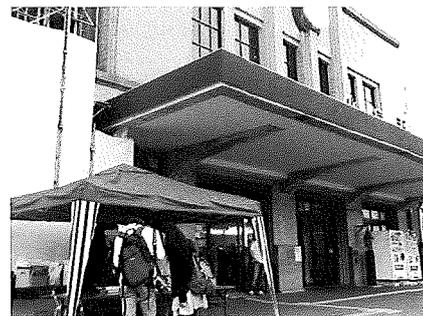


図2 調査基点ブースの様子

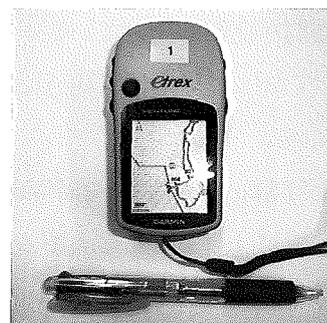


図3 使用した小型GPSロガー

本調査で使用したGPSロガーは、GARMIN社のeTrex Venture HC(図3)で、7台を用意した。調査期間は、2011年9月17～19日、23～25日の計6日間とした。貸与時間は、原則として、午前10時から午後5時までとして、観光者の歩行行動データを取得した。

この小型GPSロガーは、1度の使用につき、約10,000個のログデータを蓄積可能で、今回は5秒間隔でログを取得するよう設定した。調査実施後に確認したところ、1台あたり約6時間の使用で、約4,300個のGPSログデータを蓄積でき、合計32グループ分のGPSログを取得した。このうち、GPSログデータが起点から終点まで記録されている23グループ分のデータを有効データとした。

2.3 小型GPSロガーの測位精度

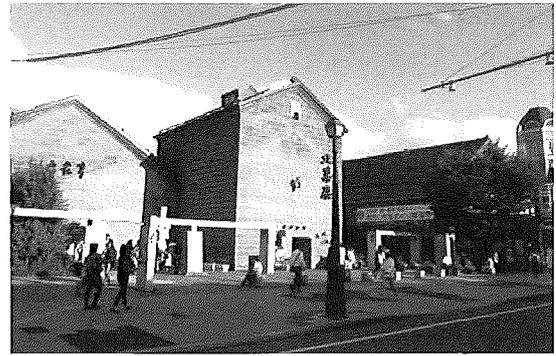
2.3.1 定点観測による測位精度

本調査で用いた小型GPSロガーの測位精度を検証するため、固定点における連続観測(以下、定点観測)を実施した。観測日時は、2011年9月25日14時から16時30分頃までの約2時間30分で、観測場所は小樽市堺町本通りの南側とした。図4に定点観測ポイントの状況を示す。

定点観測ポイントは、図4(a)の中央に見える建物の脇で、南側に隣接する建物との間の休憩スペースとなっている。このスペースの状況を図4(b)に示す。小型GPSロガーは、このスペースに置かれた白テーブルの上に置き(図4(b)の最も手前側のテーブル)、連続観測を行った。

図5に観測結果を示す。円の中心が定点観測ポイントを表わす。この定点観測ポイントの西側は、堺町本通りに面しており、空間が比較的開けている。一方、南北方向は建物が隣接しており、特に南側は間近に建物の壁がある状況となっている。

今回観測したGPSログについて、2時間30分の連続観測における平均誤差は、1.60m、最大誤差は3.90mとなり、誤差は5m以内にとどまっていることが確認できた。



(a) 定点観測ポイント付近の状況



(b) 定点観測ポイントの観測状況

図4 定点観測ポイントの状況

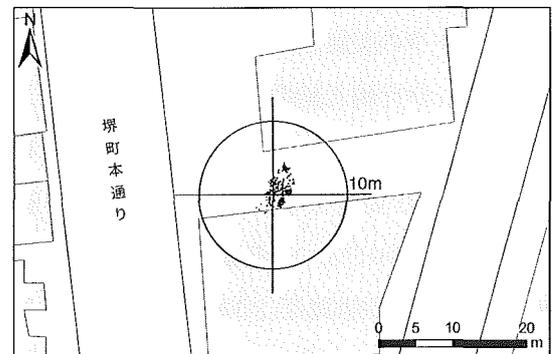


図5 定点観測結果(小樽市堺町本通り)

2.3.2 歩行状況下での測位精度

前節で述べた定点観測と同じ小型GPSロガーを用いて、観光者が歩行する状況に近い環境での測位精度を検証するため、移動観測を行った。

観測日時は、2011年9月25日の16時30分頃から16時40分頃までである。観測場所は小樽市堺町本通りで、観測開始点は定点観測ポイントとし、その地点から堺町本通りの北側へ向かって移動しながら観測した。

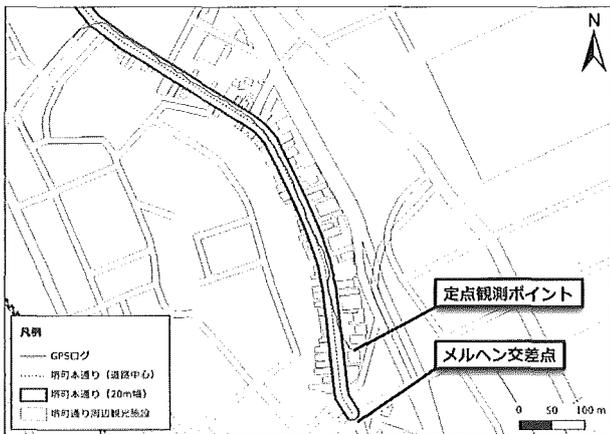
堺町本通りは、硝子製品の店舗や有名菓子店など小

樽を訪れる観光者が多く訪れる観光スポットが多い。通りの両側には、2階～3階建ての店舗が多く建ち並び、大きなビルや高層の建物はあまりない。また、この通りは、舗装道路の両側に歩道があり、歩道も含めた道路幅員は20m程度である。図6に移動観測の結果を示す。

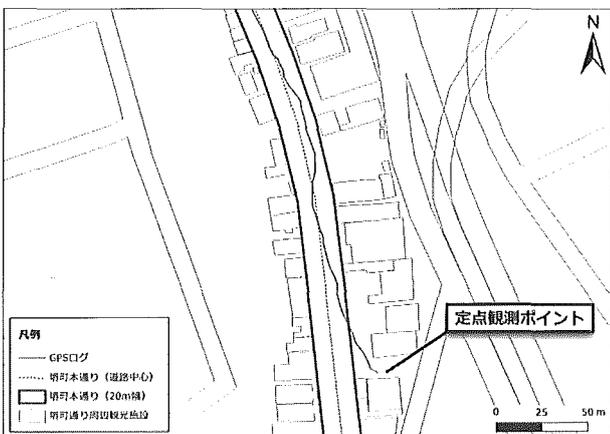
図6では、GPSロガーを持った移動測定者のGPSログを赤の実線で、また、この通りの道路中心を破線で示した。この道路中心から両側10mについて、太い実線で表した。

図6(a)に観測範囲の全体状況を示す。移動観測者は、この通りの東側歩道を移動しているが、GPSログは道路から大きく外れることなく記録されている。また、図6(b)に移動観測開始点付近の観測結果をズームアップして示す。この図では、GPSログデータは、概ね10m程度の誤差範囲内で観測されていることがわかる。

以上の移動観測結果から、観光者が歩行している状



(a)堺町本通りにおける移動観測GPSログ



(b)定点観測ポイント付近の移動観測GPSログ

図6 移動観測による歩行軌跡

態に近い状況下においても、今回使用した小型GPSロガーは、概ね安定した測位データの取得が可能であることが確認できた。

3. 観光行動の可視化における課題

観光行動におけるGPSログデータの可視化手法として、カーネル密度推定[9][15]と時空間パスによる検討[16]が行われることが多い。本章では、第2章の観光行動調査で取得したGPSログデータを用いて、この2つの可視化手法での結果を示し、従来方法の短所を述べる。

3.1 カーネル密度推定

カーネル密度推定は、観測点がない地点の値を推定する技法のひとつであり、平面的に広がりのあるポイントデータがあれば、そのデータの密度を連続的な曲面で表現できるとされている[17][18]。

図7に、第2章で述べた小樽市における観光歩行行動データを用いたカーネル密度推定の結果を示す。この図は、有効とした23データの全ポイントデータに対して、GISの代表的なソフトウェアであるArcGISを用いて、カーネル密度を計算し、可視化したものである。

その結果、主に「浅草橋」と「メルヘン交差点北部」の2箇所高密度エリアを確認できる。また、観光者の主な歩行行動範囲を把握することが可能である。

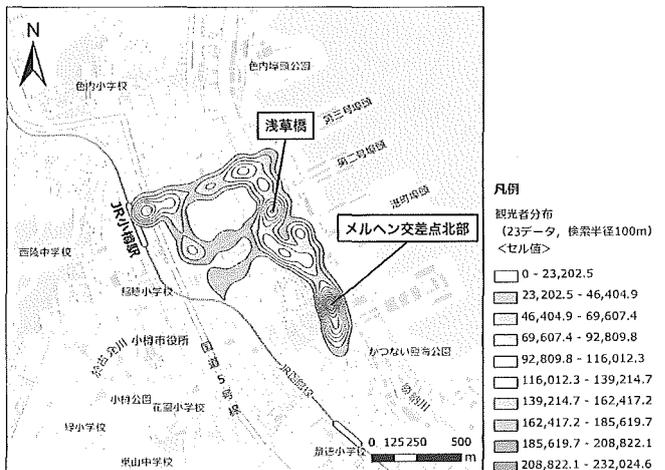


図7 観光歩行行動のカーネル密度分布

3.2 カーネル密度推定の短所

今回、小樽市内で収集した観光者のGPSログデータのうち、単一の歩行行動データについて、ポイントデータを図8に示す。また、この単一データに対するカーネル密度推定の結果を図9に示す。図8では、観光者の行動範囲や行動軌跡が読み取れる。

しかし、図9のカーネル密度分布図のみでは、長時間滞留していた場所を把握することができるが、起点から終点までの行動軌跡を読み取ることは難しく、観光行動ルートを可視化することには向かない。また、GPSログには時刻のデータが記録されているが、2次元のカーネル密度分布図では、時間経過による観光行動の動的な変化を可視化することが難しい。

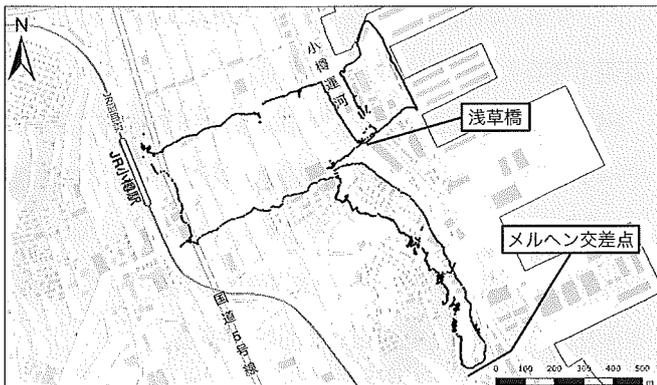


図8 GIS上に表示したGPSログ(単一データ)

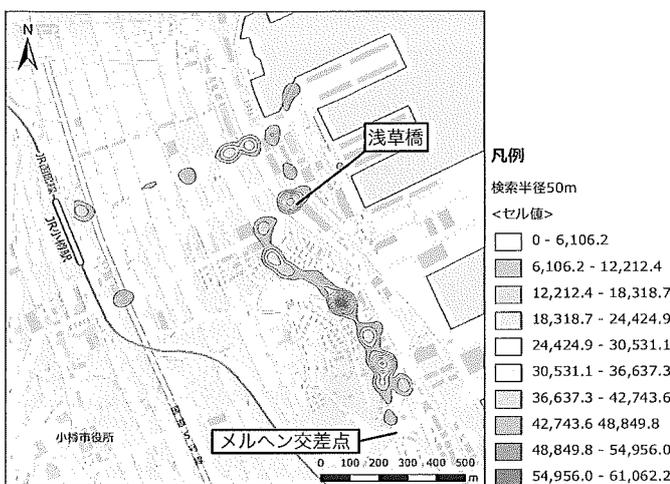


図9 観光行動のカーネル密度(単一データ)

3.3 時空間パスとその短所

時間地理学で用いられてきた時空間パスは、平面位置に対して垂直方向に時間軸を加えることで、時空間座標上に移動軌跡を可視化することができる。これにより、行動の時空間的な特徴を捉えることができる[19]。

そこで、3.2節と同様に、小樽市で収集した単一の観光行動データを用いて、時空間パスを作成した。図10にその可視化結果を示す。この図では、斜め方向に伸びている斜線が観光者の移動軌跡であることが読み取れる。

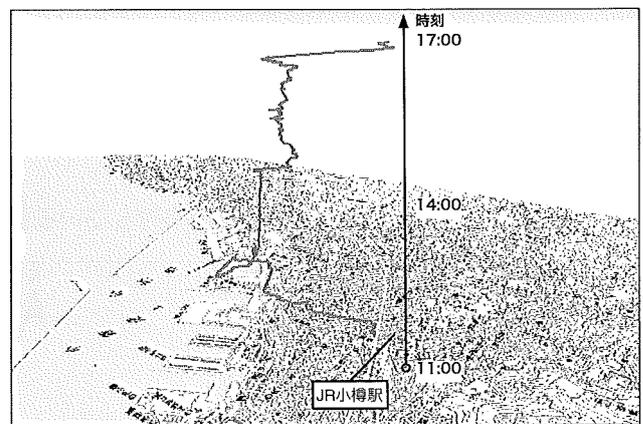


図10 観光歩行行動の時空間パス(単一データ)

しかし、時空間パスでは時間経過とともに、行動軌跡が地図表示平面から離れて可視化されていく。このため、時空間パスを見る方向をいくつか変化させても、ミクロスケールでは行動軌跡や詳細な位置を読み取りにくい。

4. GISを用いた3次元可視化手法の提案

本研究では、観光歩行行動を対象として、ミクロスケールでの滞在場所や歩行状況、また歩行ルートなどといった観光動態を明らかにすることを目的として、GISを用いた3次元可視化手法を提案する[20]。一般に、観光行動では、歩行速度が速い場合は、観光スポットなどで立ち止まらずに目的の場所へ移動している状況であると考えられる。一方、歩行速度が遅い場合は、街並みを眺めるなど、観光を楽しむような行動をとっているものと推測さ

れる。

そこで、本提案手法では、観光者の歩行速度に着目し、これを垂直軸(Z軸)として、GISを用いた3次元可視化を試みる。以下、図11に本提案手法の概要を示し、この図の手順に従って、データ処理内容の詳細を述べる。

<GPSログデータの例>

```

</trkpt> 緯度 経度
<trkpt lat="43.1977105" lon="140.9940081">
  <ele>30.4188232</ele> 標高
  <time>2011-09-17T03:34:24Z</time> 日付・時刻
</trkpt>
<trkpt lat="43.1977284" lon="140.9940691">
  <ele>34.7448730</ele>
  <time>2011-09-17T03:34:28Z</time>
</trkpt>
  
```

4.1 GISを用いた座標変換

本提案手法では、まず、小型GPSロガーで収集したGPSログをGPX形式でパーソナルコンピュータにインポートする。このGPSログの取り込みには、GPSロガー付属のソフトウェア(MapSource)を使用した。取得したGPSログには、図11の上部に示すとおり、測位地点の緯度・経度、標高、日付、時刻が記録されている。

次に、インポートしたGPSログデータのうち、緯度・経度を平面直角座標系に変換する。長尾らは、GPSログポイント間の距離をヒュベニの距離計算式に基づき計算している[7]。本提案手法では、ポイント間距離の計算を簡略化するため、GISを用いて平面直角座標系のX座標・Y座標に変換する。

4.2 GPSログデータベースの作成

インポートしたGPSログデータから移動距離や移動速度といった基礎データを算出し、データベース化する。図12にデータベース化した基礎データ算出結果の例を示す。

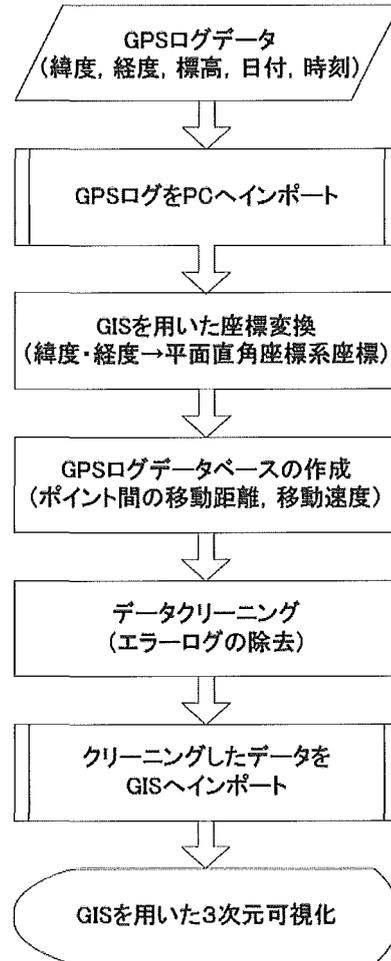


図11 提案手法の概要

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ポイント番号	緯度	経度	標高	日付	時刻 (UTC)	測地系	X	Y	測地間隔	歩行距離 (km)	歩行速度 (km/h)
1	43.19776	140.99406	38.6	2011/09/17	3:47:00	WGS84	60470.329	-88854.380	0.00.00	0.0000	0.000
2	43.19776	140.99406	38.6	2011/09/17	3:47:05	WGS84	60470.329	-88854.380	0.00.05	0.0000	0.000
3	43.19777	140.99400	38.1	2011/09/17	3:47:10	WGS84	60465.281	-88853.425	0.00.05	0.0051	3.699
4	43.19778	140.99401	37.6	2011/09/17	3:47:16	WGS84	60466.170	-88852.862	0.00.06	0.0011	0.632
5	43.19778	140.99401	37.1	2011/09/17	3:47:21	WGS84	60466.416	-88853.082	0.00.05	0.0003	0.238

説明：1. 緯度・経度を平面直角座標X座標・Y座標に変換
 2. F列から測地間隔を計算し、J列に代入
 3. 歩行距離をH列、I列から計算し、K列に代入
 4. 測地間隔と歩行距離から歩行速度を算出し、L列に代入

測地間隔: $J3 = F3 - F2$

歩行距離 (km): $K3 = \text{SORT}((H3 - H2)^2 + (I3 - I2)^2) / 1000$

歩行速度 (km): $L3 = K3 / (J3 * 24)$

図12 データベース化した基礎データの例(文献[3]の図2を参考にして作成)

4.3 データクリーニング

GPSのような衛星測位では、電離層誤差やマルチパス誤差と呼ばれる誤差が発生する。小型GPSロガーを用いる単独測位では、この誤差の発生は避けられない[8]。今回、小樽市で取得したGPSログにも、この測位誤差によるエラーが含まれており、除去する必要がある。

そこで、エラーデータを除去する基準を設定して、データクリーニングを行った。エラーログの除去基準を以下に示す。なお、基準の設定は、文献[3], [7], [8]をもとに決定した。また、歩行速度の基準は、人間の平均歩行速度(1.3m/s \div 4.7km/h) [21]をもとに設定した。

- ・基準(1):歩行速度が10km/h を超える点
- ・基準(2):対象エリア(小樽運河周辺エリア) 外の点
- ・基準(3):物理的に極短時間で移動不可能な点

以下、基準(1)により行ったエラーログ除去の例を図13に示す。歩行速度に関する基準(1)は、観測したGPSログデータのうち、2点間の歩行速度を計算した上で、10km/hを超える点を除去し、除去した点の前後2点で再び歩行速度を計算する。

図13(a)の「ポイント番号626」では、ポイント番号625と番号626の2点間で計算された歩行速度が14.8km/hで、基準(1)を超えている。そこで、ポイント番号626の行を削除する(図13(b))。次に、番号625と番号627の2点間で歩行速度を計算すると12.4km/hで、基準(1)を超えるため、番号627の行を削除する(図13(c))。続いて、番号625と番号628の2点間で歩行速度を計算すると11.7km/hで、基準(1)を超えるため、番号628の行を削除する(図13(d))。

そして、番号625と番号629の2点間で歩行速度を計算すると10.0km/hで、基準内となるため、除去を終える(図13(e))。以上のような手順で、基礎データの歩行速度を確認しながら、基準外の場合は、エラーログを除去する。

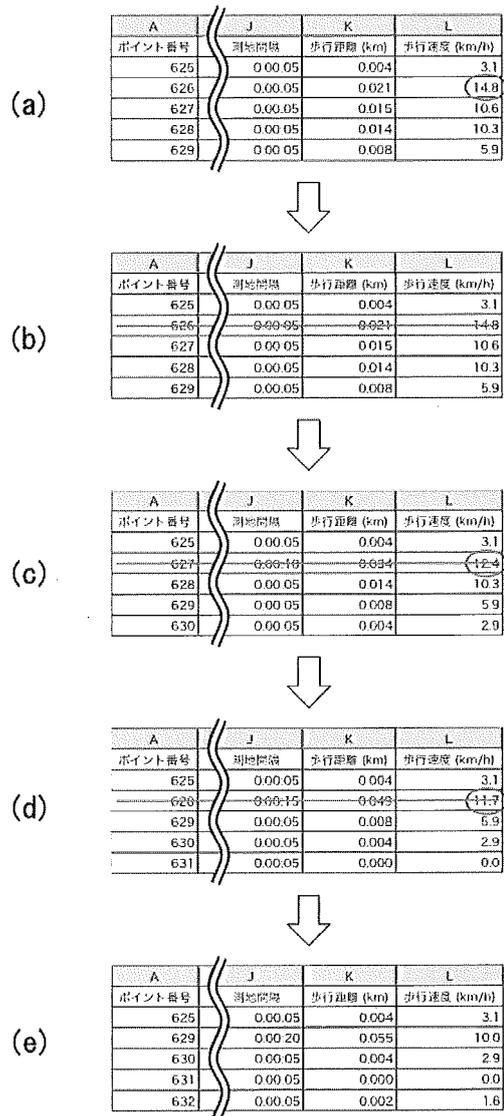


図13 基準(1)によるエラーデータ除去の例

測位間隔については、5秒間隔でGPSログを取得しているが、図13(e)のポイント番号629のように、エラーログを除去した場合は、その分だけ測位間隔が変化することとなる。

また、GPSログデータは、データ記録の日時によって、衛星の位置等に違いがあるため、そのログデータに含まれるエラーデータの数や割合は、各ログデータによって異なる。本論文での図8で用いた単一GPSログデータにおいては、全測位ポイントデータ(2083点)のうち、約2.1%(43点)が3つの基準を満たしておらず、エラーログと判断して除去した。

4.4 GISを用いた3次元可視化

エラーを除去したGPSログデータをGISへインポートし、3次元可視化を行う。今回、3次元可視化に使用したGISは、カシミール3Dで、Web上で無料提供されているGISソフトウェアである[22]。

カシミール3Dは、インポートしたデータをもとに、観光者の歩行速度を連続した帯状の表示棒としてPCの画面上に表示する。通常、3次元を扱うGISでは、Z軸方向のデータは標高データとなっている。本提案手法では、この標高データを歩行速度データに置き換えることで、歩行速度の3次元可視化を実現している。

本研究では、歩行速度に着目した3次元可視化により、それぞれの個人GPSログデータに関する歩行観光行動の全体概要を把握できる。また、GISの画面表示を様々な角度で回転させることにより、ミクروسケールで詳細な歩行観光行動を把握することができる。

4.5 提案手法における歩行速度表示

2.3.2節で示した移動観測GPSログに対して、本提案手法を用いた3次元可視化を行った。図14にその結果を示す。

この図では、ベースマップ上のXY軸方向が、移動者の歩行する位置を表わし、Z軸方向は、歩行速度で表示棒となって可視化される。この表示棒は、ベースマップに近いほど低速度を表す。歩行速度の表示は、歩行速度を分母とした逆数で表現することも可能だが、この場合、歩行速度が遅いほど、ベースマップから離れて表示される。本提案手法では、低速歩行している観光者の位置関係をより把握しやすくするため、低速度側が地表近くとなるように表示させる。

Z軸方向の表示棒の長さは、GPSログのポイント間の長さとなっている。また、ポイント番号に対応した歩行速度において、2点間の歩行速度の差が大きければ、表示棒が長くなる。GIS上で地図縮尺を変化させた場合は、そ

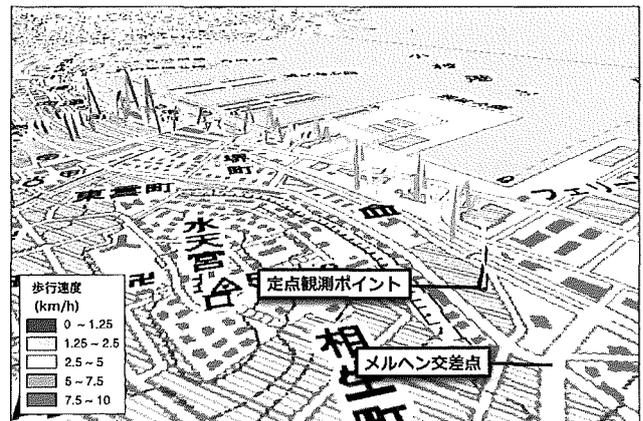


図14 移動観測データによる歩行速度の表示

れに応じて、表示棒の表示自体の大きさも変化する。

歩行速度の表示は、0~10km/hの範囲を5段階で区分した。2.5~10km/hの間は、2.5km/h毎の間隔だが、低速度の歩行状態であることを明確に表示するため、2.5 km/h 未満は、0~1.25km/hと1.25~2.5 km/hの2区分とした。

この移動観測では、移動測定者に対して、可能な限り、日常どおり歩行するように指示した。図14の結果をみると、前述した人間の平均歩行速度付近で歩行速度が表示されており、本提案手法により、移動者の歩行速度を可視化できることが確認できた。

5. 実データによる3次元可視化手法の検証

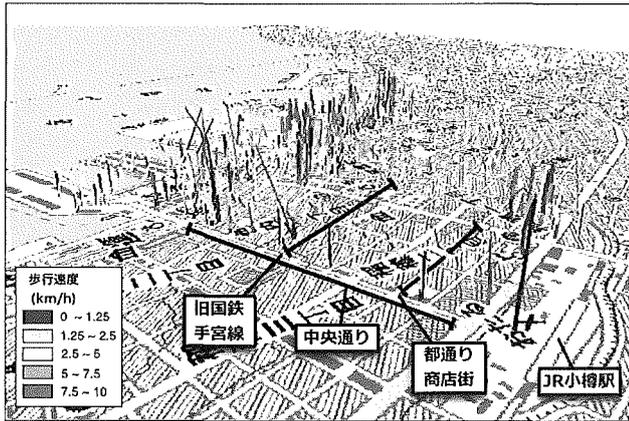
本章では、第4章で述べた提案手法に従って、小樽市で実際に取得した観光歩行行動のGPSログデータを用いて3次元可視化を行い、提案手法の有用性を検証する。

5.1 提案手法を用いた3次元可視化の結果

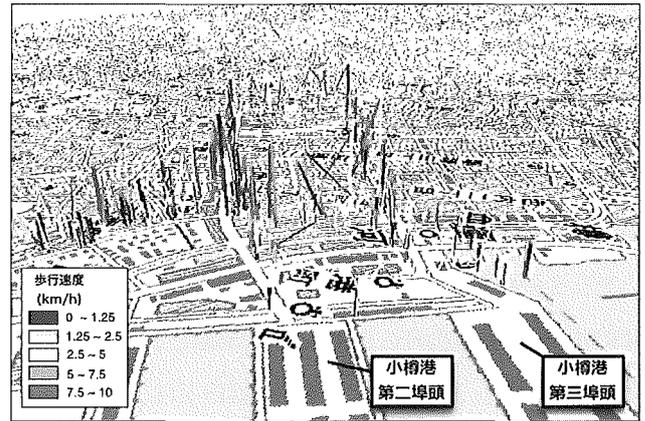
5.1.1 観光歩行行動の状況

図15に提案手法による観光歩行行動の3次元可視化結果を示す。4.5節で述べたとおり、この図のうち、ベースマップ上のXY軸方向は、観光者が歩行する位置を表わし、Z軸方向は、歩行速度を表現している。

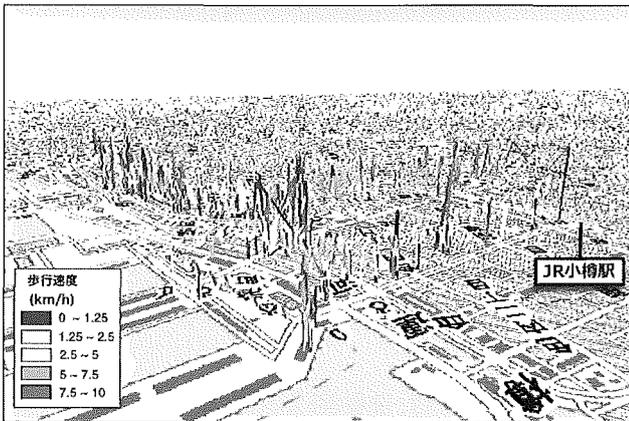
この可視化に用いたGPSログデータは、小樽運河や堺



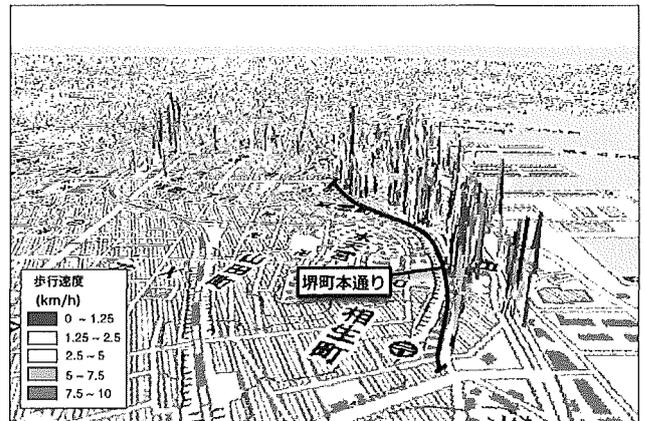
(a) JR小樽駅側より南方向を表示



(b) 小樽港埠頭側からの表示



(c) 小樽港埠頭側から西方向を表示



(d) 小樽市堺町本通り付近の表示

図15 観光歩行行動の3次元可視化(小樽運河周辺エリア)

町本通りといった小樽運河周辺エリアの主要な観光スポットを回遊している単一の歩行行動データで、図8に示したGPSログと同一である。

まず、図15(a), (b), (c), (d)の各方向からの可視化により、観光行動の全体範囲がわかる。起終点は、2.2節で述べたとおりJR小樽駅である。行動範囲は、南運河付近から堺町本通り付近にとどまっており、北運河側(色内2丁目付近)には至っていない。

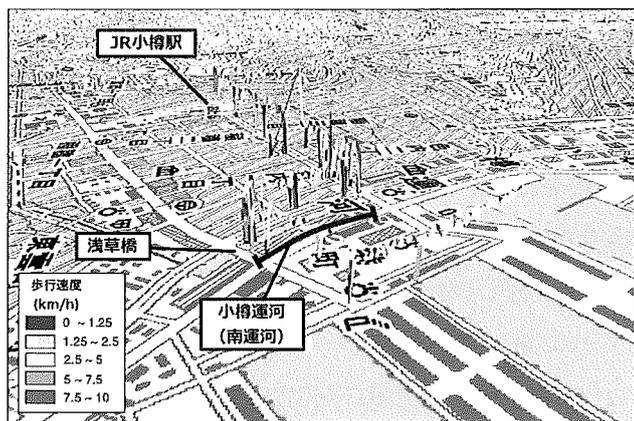
次に、各方向からの詳細な状況を見ると、図15(a)では、JR小樽駅から海の方へ向かう道路上で、歩行速度の変化の様子が可視化されているのがわかる。この道路上で歩行速度が低く表示されている箇所は、アーケード街となっている都通り商店街の入り口付近や旧国鉄手宮線の跡地付近などである。その他の速度低下は、信号機のある交差点付近となっている。

また、図15(b)では、小樽港埠頭付近の数カ所で歩行速度が低下しているのが読み取れる。図15(d)は、小樽市堺町本通り付近を南方向から表示した状態で、この通りでは、観光者の歩行速度が全体的に低くなっていることがわかる

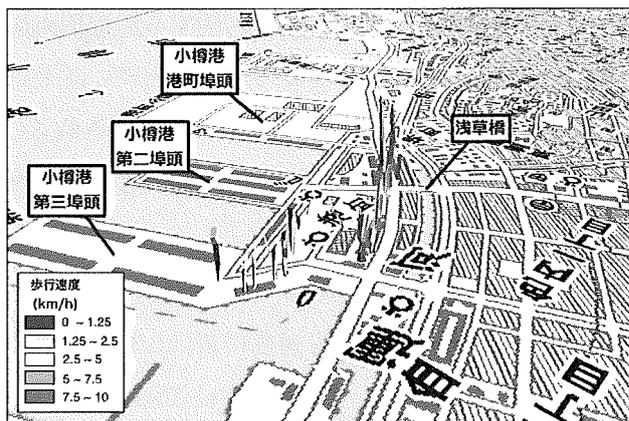
5.1.2 一定時間間隔毎の観光行動状況

図16は、前節で用いた行動データと同じGPSログデータを用いて、一定時間間隔毎の3次元可視化結果を示している。この3次元可視化により、ある時間帯にどの場所で行動しているかを推察することができる。また、時間経過別に可視化することにより、観光行動ルートを把握することが可能となる。

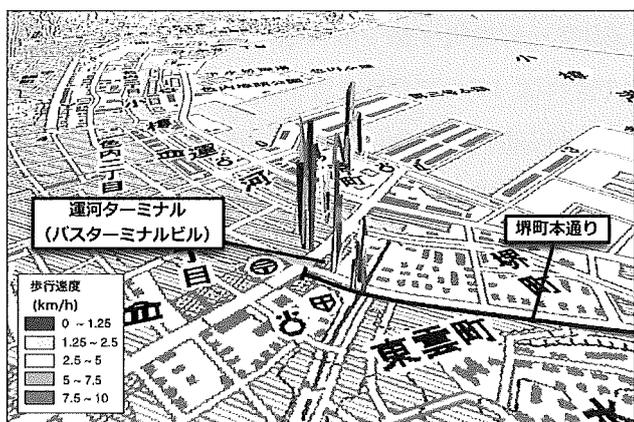
まず、図16(a)に示した可視化結果では、最初に小樽運河周辺に向かい、その付近で歩行速度が低下してい



(a) JR小樽駅出発(12時8分)~13時まで



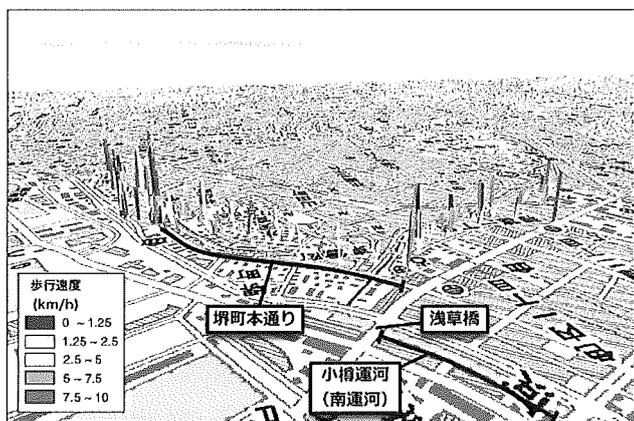
(b) 13時~14時までの行動



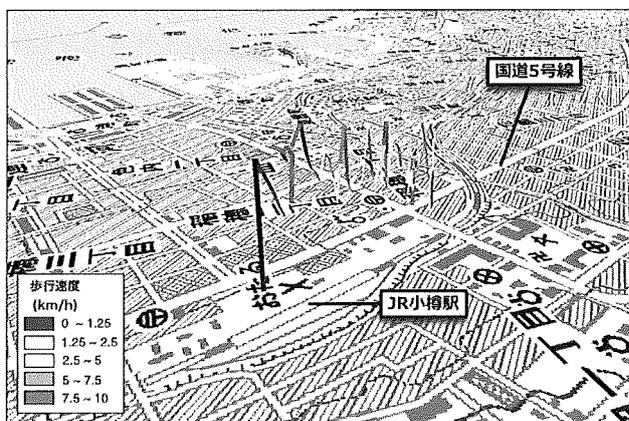
(c) 14時~15時までの行動



(d) 15時~16時までの行動



(e) 16時~17時までの行動



(f) 17時~JR小樽駅到着(17時7分)まで

図16 観光歩行行動の3次元可視化(一定時間感覚での分析)

る箇所が多い。このことから、南運河付近に滞留していることが読み取れる。また、図16(d)に示した15時~16時までの時間帯では、堺町本通り付近で、ゆっくりとした速度で歩行していることが明瞭にわかる。

一方、図16(e)と(f)では、歩行速度が低下した表示が少ないことがわかる。また、滞留している場所もほとんどな

く、JR小樽駅に向かって移動していることが推察できる。

5.2 考察

5.2.1 本提案手法による観光歩行行動データからの情報抽出

5.1.1節の可視化結果から、観光都市内というマイクロスケールの観光行動分析に本提案手法を適用することで、

GPSログデータから観光歩行動態に関する情報抽出に一定の有用性があることが分かった。すなわち、従来用いられてきたカーネル密度分布図のみでは読み取ることができない行動軌跡を、より分かりやすい表示で可視化することが可能になった。

行動軌跡を可視化することは、時空間パスを用いても可能であるが、観光者の歩行速度に着目した本提案手法により、ミクロスケールで空間的な位置関係をより分かりやすく可視化することができるようになった。この結果、観光歩行行動のGPSログデータに対して、本提案手法を適用することで、観光者の歩行行動範囲や滞留場所をより把握しやすくなると考えられる。

5.2.2 一定時間間隔毎の可視化による情報抽出

5.1.2節の可視化結果から、観光歩行行動における一定時間帯毎の3次元可視化により、時系列毎に、単一の観光者が多くの時間を消費しているエリアや時間帯の抽出が可能であることがわかった。このことは、逆に、観光者が歩行速度を落とすことなく、通過してしまうエリアなどを明らかにすることも可能となると考えられる。

また、提案手法を実際の観光歩行データに適用することで、カーネル密度分布では明確に可視化できなかった時間帯毎の観光歩行ルートが表示が可能であることがわかった。このことにより、多くのGPSログデータを得ることができれば、観光者がどの時間帯にどの場所に多く滞在しているか、という動的な情報をミクロスケールで得ることが可能になり、観光施策や観光まちづくりなどに必要となる動的な観光行動データを得ることが出来るものと考えられる。

5.2.3 本提案手法の有用性

本提案手法では、2次元可視化では表現できないような歩行行動を可視化できる可能性がある。例えば、単一観光者の歩行軌跡を2次元で可視化する場合、歩行速

度に対して、段階的に軌跡描画の色を当てはめれば、歩行速度に応じた歩行軌跡が描ける可能性がある。しかし、歩行観光者が同一の道路を行ったり来たりするような複雑な行動した場合、2次元の可視化では、その色分けした歩行軌跡が重なり合ってしまう、歩行行動を読み取ることが難しくなる。

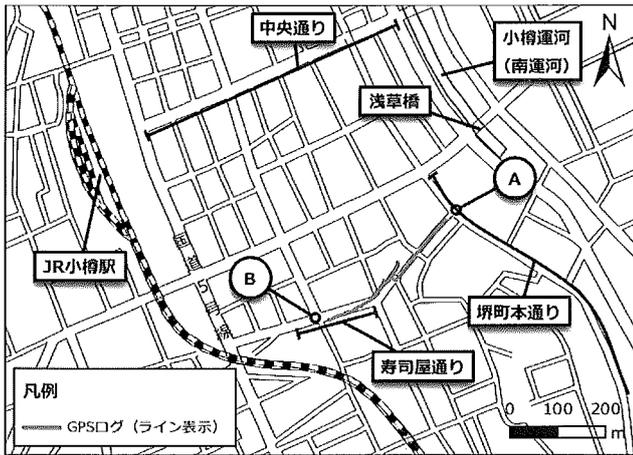
これに対し、ワークステーションやパーソナルコンピュータ(以下、PC)を用いたGIS上での3次元可視化では、その画面上で視点移動が可能である。本提案手法による3次元可視化手法で歩行速度を表示棒として可視化できれば、PCのマウスを用いて、GISの画面上で回転させながら視点を移動し、最も読み取りやすい角度で表示することができる。

GISを用いた本提案手法による3次元可視化では、上述の視点移動により、観光者が複数の土産店を行ったり来たりするような複雑な観光歩行行動を一定程度把握することが可能になると考えられる。

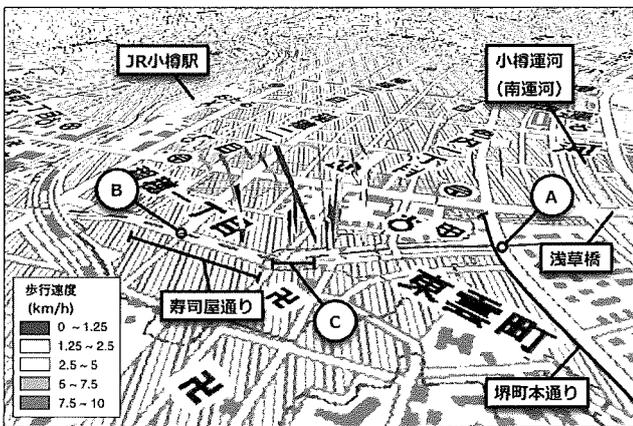
以下、今回、小樽市で取得した観光歩行行動のGPSログデータを用いて、2次元では読み取れない歩行行動の事例を述べる。ここで可視化に用いるログデータの取得日は、2.2節で述べた調査期間内で、2011年9月18日である。

図17で可視化したGPSログデータは、図8に示した単一データではなく、他の観光者のデータである。その観光者の全ログデータのうち、堺町本通りから寿司屋通りへ向かって歩行している時間帯のデータを用いる。同図の中に示した地点Aでの時刻は同日13時14分頃、地点Bの時刻は同日13時54分頃で、単一観光者は、地点Aから地点Bに向かって進行している。

図17(a)は、このログデータを歩行軌跡として2次元で表示した。また、図17(b)は、(a)と同一のデータを本提案手法により3次元可視化した図である。図17(b)に示した地点C付近において、進行方向に対して、低速度で斜めに大きく地点A側に戻っている表示棒が確認で



(a) 歩行軌跡の2次元可視化



(b) 本提案手法による3次元可視化

図17 2次元と3次元可視化の比較

きる。このような重複するが一定でない歩行は、図17(a)に示した2次元の歩行軌跡表示では、軌跡が重なり合ってしまう把握するのは難しい。

以上のように、本提案手法による3次元可視化では、2次元可視化では明確に表現できない歩行行動を可視化し、把握できる可能性がある。

5.2.4 本提案手法の課題

一方、観光歩行行動の実データを用いた可視化により、本提案手法の課題も明確になった。明らかになった課題をまとめると、以下の3点となる。

まず、1点目は、観光行動とは直接関係しないGPSログデータの取り扱いに関する課題である。一般に、街並みを楽しみながら散歩することや写真を撮影することなど

といった観光行動の状態であれば、歩行速度は低下、あるいはゼロとなると考えられる。しかし、自動車等が通過する交差点付近や信号待ちの状態でも歩行速度は低下し、立ち止まればゼロとなるのは自明である。

本提案手法による現状のデータクリーニングでは、上記の状態を明確に区別していない。従って、この点について、今後は、交差点付近で一定時間とどまっているような明らかな信号待ちのGPSログデータに対しては、新たな基準の設定を追加検討し、データクリーニングする必要がある。

2点目は、歩行速度と観光行動の関係性に関する課題である。GPSロガーを用いた観光歩行行動データでは、歩行速度が低下している場所や速度がゼロになっている位置をおおよそ把握できる。しかし、本提案手法による可視化では、歩行速度が低下している状態、また速度がゼロとなっている位置(場所)で、どのような観光行動を行っているかを明確に推察することは難しい。

この点については、川瀬らによる動物公園を対象とした観光行動に関する研究で、同一位置における「滞在時間」と「観覧時間」の判別に関して、本研究と類似した課題が指摘されている[23]。川瀬らは、この課題に対して、ビデオカメラを持たせた調査員を被験者に同行させ、被験者の観覧行動を記録し、分析している[24]。

本研究は、小規模観光都市内の観光歩行行動を対象としており、動物公園内の観覧行動とは違った環境下ではあるが、川瀬らの方法を参考にして、観光者にビデオカメラやGPS機能付きのデジタルカメラなどを持ってもらい、観光行動の様子を記録し分析することで、歩行速度との関係を明らかにする必要があるものと考えている。

3点目は、屋内におけるGPSログ記録に関する課題である。GPSロガーを用いて観光行動データを取得する手法では、観光者が建物の屋内に入った場合、GPSログデータを取得できない状況になってしまう。

この課題を解決する方法のひとつとして、2.1節で述べ

た準天頂衛星「みちびき」と「地上補完信号送信機」を組み合わせた屋内外のシームレス測位方法がある[25]。この測位方法は、2011年に北海道内にて実証実験が行われたが、広く一般に測位できる段階には至っていない。しかし、将来、衛星測位と対応受信機等を用いることで、屋内外の連続した、かつ、精度の高いGPSログデータの取得が可能になることが期待される。

6. おわりに

本研究では、観光都市内におけるマイクロスケールの観光歩行行動を対象として、観光者の歩行速度に着目した3次元可視化手法を提案した。本提案手法の有用性を検証するため、小樽運河周辺エリアを事例として、実際の観光行動で取得したGPSログデータを用いて、可視化を行った。

その結果、従来用いられてきたカーネル密度推定や時空間パスを用いた2次元・3次元可視化手法に比べ、観光者が滞留している場所や観光行動軌跡などをより明確に可視化することが可能となり、観光行動に関する情報抽出に一定の有用性があることを示すことができた。

一方、本提案手法の課題も明確になった。1点目の課題は、観光行動とは直接関係しないGPSログデータの取り扱いに関する課題である。交差点の信号待ち状態で歩行速度がゼロと記録されるGPSログデータについては、新たに基準を設定し、データクリーニングを行うことで解決したい。

2点目の課題は、歩行速度と観光行動の関係性に関する課題である。本提案手法による可視化では、歩行速度が低下している状態で、観光者がどのような観光行動を行っているかを明確に推察することは難しい。そこで、観光者にビデオカメラなどを持ってもらいなど、観光行動の状況を記録し分析することで、歩行速度との関係を明らかにしていく必要がある。

課題の3点目は、屋内におけるGPSログ記録に関する

課題である。GPS測位では、現状、屋内の行動データを取得できない。この課題に対しては、衛星測位における新技術の開発と早期の測位運用を期待したい。

今後は、上記課題の解決を検討しながら、観光者の協力を得て、多くの観光行動データを取得し、本提案手法を適用していきたい。これにより、観光都市における観光行動の特徴を分析し、観光施策や観光まちづくりなどに寄与していきたいと考えている。

[謝辞]

本研究は、小樽商科大学重点領域推進研究および同大学地域研究会研究プロジェクト助成により行った。北海道旅客鉄道(株)小樽駅には、観光者歩行調査基点ブースの設置をご快諾頂いた。また、小樽商科大学地域活性化サークル“小樽笑店”の学生諸君には、調査基点ブースで観光者への対応に協力頂いた。ここに記して深謝いたします。

[参考文献]

- [1] 溝尾良隆:観光学—基本と実践, 古今書院, p.149 (2003)
- [2] マイクロジオデータ研究会:<http://geodata.csis.u-tokyo.ac.jp/wp/>
(最終アクセス日:2012年2月12日)
- [3] 野村幸子, 岸本達也:GPS・GISを用いた鎌倉市における観光客の歩行行動調査とアクティビティの分析, 日本建築学会総合論文誌, 第4号, pp.72-77 (2006)
- [4] 古谷知之:携帯型位置情報端末を用いた観光行動動態の時空間データマイニング —箱根地域を事例として—, 都市計画論文集, No.41-3, pp.1-6 (2006)
- [5] 倉田陽平, 矢部直人, 駒木伸比古, 有馬貴之, 杉本興運:何を, いつ, どれくらい見て, どこに興味を示すのか?—訪日外国人観光客のより詳細な行動調査に向けて—, 観光情報学会第2回研究発表会講演論文集, pp.43-48(2010)
- [6] G. M. Wim, van der Knaap, “GIS - oriented analysis of tourist time - space patterns to support sustainable tourism development, *Tourism Geographies*”, *International Journal of Tourism Space, Place and Environment*, Vol.1, No.1, pp.56-69 (1999)
- [7] 長尾光悦, 川村秀憲, 山本雅人, 大内東:GPSログデータマイニングに基づく観光動態情報の取得, 観光情報学会学会誌, 観光と情報, 第1巻, 第1号, pp.38-46(2005)
- [8] 矢部直人, 有馬貴之, 岡村祐, 角野貴信:GPSを用いた観光行動調査の課題と分析手法の検討, 観光科学研究, 第3号, pp.17-30 (2010)
- [9] 有馬貴之:動物園来園者の空間利用とその属性—上野動物園と多摩動物公園の比較, 地理学評論, Vol.83, No.4, pp.353-374(2010)
- [10] M.Modsching, R.Kramer, K.T.Hagen, U.Gretzel, “Using Location-based Tracking Data to Analyze the Movements of City Tourists”, *Information Technology & Tourism*, Vol.10, No.1, pp.31-42 (2008)
- [11] 橋本雄一, 加賀屋誠一, 萩原亨:GISを援用した凍結防止剤散布後の路面管理と運転行動に関する統合データベース構築, 地理学論集, No.83, pp.3-11(2008)
- [12] 白井澄夫:高精度衛星測位技術の動向と応用, 電子情報通信学会誌, Vol.92, No.9, pp.768-774(2009)
- [13] 準天頂衛星システム:<http://qzss.jaxa.jp/>
(最終アクセス日:2012年2月12日)
- [14] 小樽市産業港湾部観光振興室:平成20年度観光客動態調査報告書, p.56(2010)
- [15] 鈴木晃志郎, 若林芳樹:日米の旅行案内書から見た東京のツーリズム空間の異文化比較, 地理情報システム学会講演論文集, No.15, pp.113-116 (2006)
- [16] Mei-Po Kwan, “Interactive geovisualization of activity-travel patterns using three-dimensional geographical information systems: a methodological exploration with a large data set”, *Transportation Research Part C*, Vol.8, pp.185-203 (2000)
- [17] B.W.Silverman, “Density Estimation for Statistics and Data Analysis”, New York, Chapman and Hall (1986)
- [18] 中谷友樹, 谷村晋, 二瓶直子, 堀越洋一:保健医療のためのGIS, 古今書院, p.249(2004)
- [19] T.Hägerstrand, “What about people in regional science?”, *Papers of the Regional Science Association*, Vol.24, pp.7-21(1970)

[20] 深田秀実, 奥野祐介, 大津晶, 橋本雄一: 観光歩行行動のマイクロジオデータに対する3次元可視化分析方法の検討, 観光情報学会第4回研究発表会講演論文集, pp.41-48(2011)

[21] J.Perry(著), 武田功(監訳): ペリー歩行分析ー正常歩行と異常歩行ー, 医歯薬出版, p.300(2007)

[22] カシミール3D: <http://www.kashmir3d.com/>
(最終アクセス日: 2012年2月12日)

[23] 川瀬純也, 岡野雄気, 神田八枝, 窪村麻里子, 小池拓矢, 真栄田晃, 有馬貴之, 倉田陽平, 矢部直人: GPSを用いた来園者行動調査とその課題ー多摩動物公園での調査からー, 第8回観光情報学会全国大会発表概要集, pp.16-17(2011)

[24] J.Kawase, Y.Kurata and N.Yabe, "When and Where Tourists are Viewing Exhibitions : Toward Sophistication of GPS-Assisted Tourist Activity Surveys", Information and Communication Technologies in Tourism 2012(ENTER 2012), pp.415-425(2012)

[25] 北海道総合政策部科学 I T 振興局: 博物館網走監獄での「オホーツクみちびきプロジェクト」について, <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/jsk/michibiki/231011press.pdf>
(最終アクセス日: 2012年2月12日)

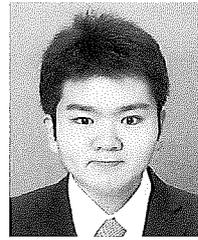
(平成24年2月16日受付, 平成24年4月13日採録)



深田 秀実(正会員)

1965年生. 1990年岩手大学大学院工学研究科修士課程修了. 同年建設省(現国土交通省)東北地方建設局採用. 1991年同省土木研究所地震防災部. 1993年盛岡市採用. 同市企画部企画調整課情報企画室等を経て, 2009年小樽商科大学社会情報学科

准教授. この間, 1999年岩手大学大学院人文社会科学研究科修士課程修了. 2008年岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科博士後期課程修了. 博士(ソフトウェア情報学). 地理情報システム等の研究に従事. 情報処理学会, 地理情報システム学会, 社会情報学会, ACM各会員.



奥野 祐介(非会員)

1988年生. 2008年小樽商科大学入学. 2012年同大学社会情報学科卒業. 同年北海道大学大学院文学研究科人間システム科学専攻地域システム科学専修入学. 地理情報システムの研究に興味をもつ.



大津 晶(非会員)

1971年生. 2000年筑波大学大学院社会工学研究科修了. 2001年筑波大学大学院ビジネス科学研究科準研究員, 2003年小樽商科大学社会情報学科助教授を経て, 2007年同准教授. 博士(社会工学). 都市解析の研究に従事. 日本都市計画学会, 地理情報システム学会, 日本オペレーションズ・リサーチ学会各会員.



橋本 雄一(非会員)

1963年生. 1993年筑波大学大学院博士課程地球科学研究科単位取得退学. 北海道大学文学部助手, 同助教授, 同大学大学院文学研究科准教授を経て, 2011年同教授. 博士(理学). 都市地理学, 地理情報科学などの研究に従事. 日本地理学会, 地理情報システム学会, 人文地理学会, 経済地理学会各会員.